IEC-symbolen

Het is noodzakelijk aan iedere logische schakeling een eenduidig en goed herkenbaar symbool toe te kennen. Dat gebeurt aan de hand van de IEC-symboliek, een uitgebreid en helaas vrij ingewikkeld systeem waarmee u uit het symbool vrijwel alle logische eigenschappen van de schakeling kunt afleiden.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 20-07-2020

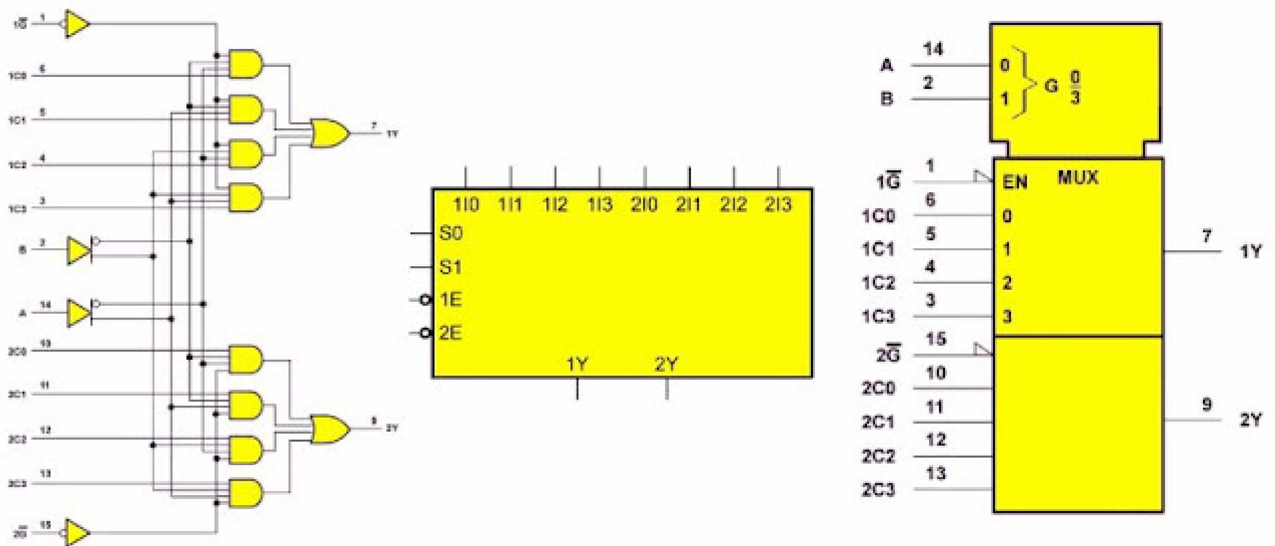
Inleiding

De Amerikaanse ANSI-symbolen waren dé standaard
De allereerste logische schakelingen waren de eenvoudige poorten die door Amerikaanse halfgeleider fabrikanten onder de vorm van geïntegreerde schakelingen op de markt werden gebracht. Het is dus logisch dat de Amerikaanse symbolen voor deze poorten tientallen jaren lang dé standaard zijn geweest. In de onderstaande figuur zijn deze zogenaamde ANSI-symbolen samengevat. ANSI betekent '*American National Standards Institute*'.



De Amerikaanse ANSI-symbolen voor de poorten. (© 2020 Jos Verstraten)

Niet geschikt voor ingewikkelde schakelingen
Deze symbolen zijn voor uitgebreide digitale schakelingen, die uit veel poorten zijn samengesteld, niet geschikt. Het gevolg is dat iedere fabrikant aan flip-flop's, tellers, schuifregisters, etc. zelfbedachte symbolen toekent. Meestal bestaat zo'n symbool uit een rechthoekje met wat in- en uitgangen. De logische functies van het onderdeel kunnen dan uitsluitend worden toegelicht door begeleidende tekst of door een tekening van de interne schakeling.
Een voorbeeld is voorgesteld in de onderstaande figuur. Van het TTL-IC 74153 (dual 4-input multiplexer) wordt links de samenstelling voorgesteld met ANSI-symbolen, in het midden het fabrikanten symbool en rechts het IEC-symbool. Ondanks de eenvoudige tekenwijze geeft dit laatste symbool volledige informatie over de werking. Maar dan moet u de IEC-symboliek natuurlijk wél doorgronden.

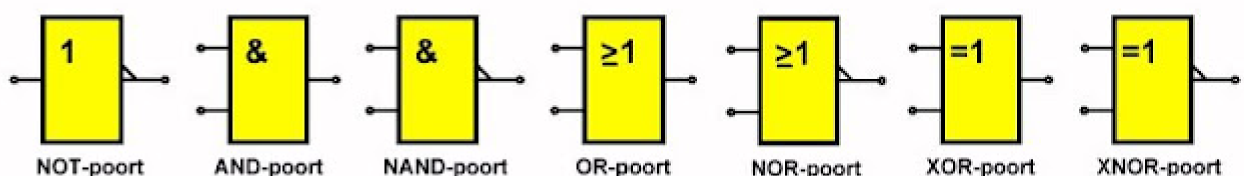


De 74153 op drie manieren voorgesteld. (© 2020 Jos Verstraten)

De Internationale Elektrotechnische Commissie
Het door de IEC ontworpen eenduidig stelsel voor logische symbolen wordt nu internationaal toegepast. Met dit stelsel is het mogelijk ook aan zeer ingewikkelde logische schakelingen een niet mis te verstaan symbool toe te kennen. Doordat de exacte relatie tussen alle in- en uitgangen hiermee wordt vastgelegd zonder in detail te treden over de interne logica, is deze representatie zeer effectief.

Eenvoudig met de computer te tekenen
Een tweede voordeel van deze symboliek is dat er geen ronde vormen meer in voorkomen, hetgeen een voordeel is bij het tekenen met de computer.

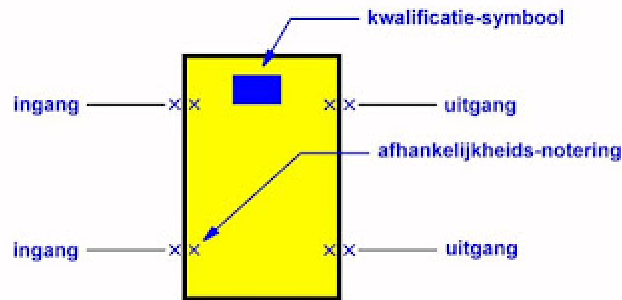
De IEC-symbolen voor de poorten
Een logische consequentie van het uitbannen van ronde vormen is dat ook de bekende ANSI-symbolen voor de poorten vervangen moeten worden. Alle zeven poorten worden nu voorgesteld door een identieke rechthoek, waarin gemakkelijk te begrijpen symbolen de functie van de poort definiëren. Omdat ook het Amerikaanse cirkeltje voor het weergeven van de negatie is verbannen, is dit symbooltje vervangen door een schuin streepje op de uitgang.



De IEC-symbolen voor de zeven basis poorten. (© 2020 Jos Verstraten)

Opbouw van de IEC-symbolen

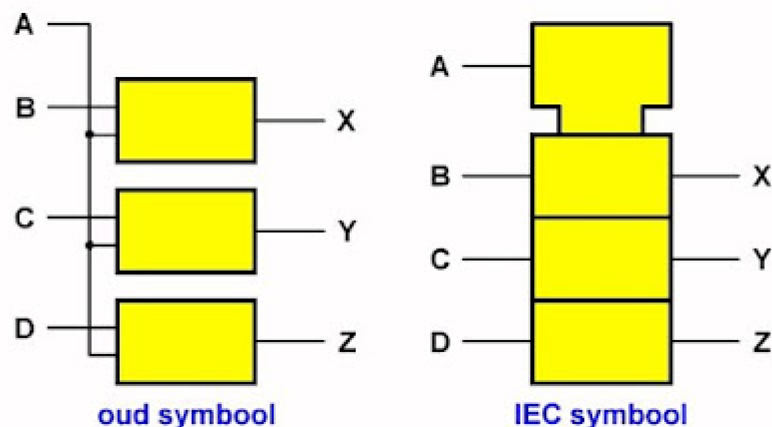
De basisvorm
De logische functies krijgen een of meerdere rechthoeken als basis symbool. In deze rechthoek wordt een '*kwalificatie-symbool*' opgenomen dat de logische functie van de schakeling omschrijft. Om de relaties tussen de in- en de uitgangen te beschrijven wordt gebruik gemaakt van '*afhankelijkheids-noteringen*'.



De basisvorm van een IEC-symbool. (© 2020 Jos Verstraten)

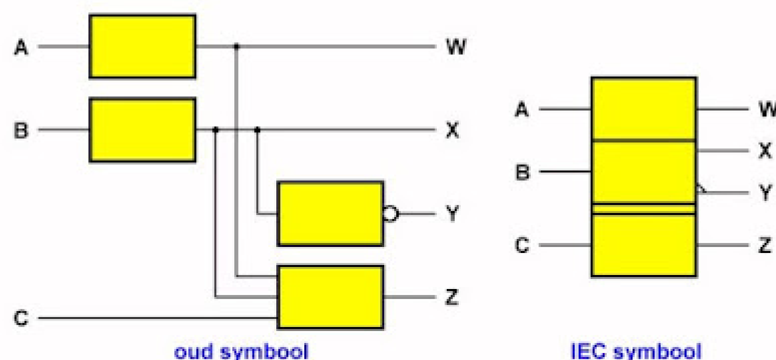
De signaalrichting
De signaalrichting door de symbolen is bij voorkeur van links naar rechts. Behalve in uitzonderingsgevallen waarbij pijlen worden gebruikt bevinden de ingangen zich dus links en de uitgangen rechts van het symbool.

Gemeenschappelijk besturingsblok
Als meerdere elementen uit een logische functie samen worden bediend door één of meer ingangen, kan een gemeenschappelijk besturingsblok worden toegepast. Dit deel van het symbool moet de in de onderstaande figuur voorgeschreven vorm hebben. Links is een 'ouderwetse' voorstelling getekend, rechts het IEC-symbool.



Symbolisering van een gemeenschappelijke besturing. (© 2020 Jos Verstraten)

Gemeenschappelijk uitgangsblok
Een uitgang die van alle elementen afhankelijk is kunt u door een gemeenschappelijk uitgangsblok voorstellen. Het gemeenschappelijke uitgangsblok kan ook nog eigen ingangen hebben. Zoals in de onderstaande figuur is voorgesteld heeft een dergelijk blok een dubbele lijn aan de bovenkant.
Let op de manier waarop de inverterende trap achter het blok met ingang B en uitgang Y wordt voorgesteld in de IEC-symboliek. Dat blok krijgt twee uitgangen, waarvan één is voorzien van het schuine inverter-streepje.



Symbolisering van een gemeenschappelijk uitgangsblok. (© 2020 Jos Verstraten)

Overzicht van de symbolen en functies

Kwalificatie-symbolen voor de logische functies
De kwalificatie-symbolen geven de logische functie weer die door het symbool wordt beschreven. In de IEC-norm worden niet minder dan 37 kwalificatie-symbolen gedefinieerd. Dat kunnen lettercombinaties zijn die een afkorting vormen van de functie van het onderdeel. Er zijn echter ook niet zo voor de hand liggende symbolen. Een groot aantal van die 37 zijn bovendien nogal specialistisch en de kans dat u er, als hobby-elektronicus, mee in aanraking komt is verwaarloosbaar. In het onderstaande overzicht beschrijven wij de kwalificatie-symbolen voor de meest toegepaste logische functies.

SYMBOOL	BETEKENIS
=	Logische gelijkheid. Als alle ingangen in dezelfde logische toestand zijn is de uitgang 'H'
=1	EXOR-poort. Alleen als één ingang 'H' is, is de uitgang 'H'
≥1	OR-poort. Als minstens één ingang 'H' is, is de uitgang 'H'
&	AND-poort. Als alle ingangen 'H' zijn, is de uitgang 'H'
1	Buffer met niet-versterkte uitgang. Als de ingang 'H' is, is de uitgang 'H'
≥x	Logische drempel. Als minstens x ingangen 'H' zijn, is de uitgang 'H'
=x	x-uit-y functie. Als x van de y ingangen 'H' zijn, is de uitgang 'H'
2k	Even functie. Als een even aantal ingangen 'H' is, is de uitgang 'H'
2k+1	Oneven functie. Als een oneven aantal ingangen 'H' is, is de uitgang 'H'
X/Y	Code-omzetter, zoals DEC/BCD of BIN/7-SEGM
MUX	Multiplexer of data selector
DMUX	Demultiplexer
ALU	Arithmetic Logic Unit, rekeneenheid
SRGx	Schuifregister met x bits
CTRx	Binaire teller met x bits
CTRDIVx	Teller met een cycluslengte van x bits.
ROMx•y	Read Only Memory met x woorden van y bits
PROMx•y	Programmeerbaar Read Only Memory met x woorden van y bits
RAMx•y	Random Access Memory met x woorden van y bits
FIFOx•y	First-In First-Out Memory met x woorden van y bits
I=0	Bij inschakelen van de voedingsspanning wordt de uitgang 'L'
I=1	Bij inschakelen van de voedingsspanning wordt de uitgang 'H'
▷	Buffer element met versterkte uitgang
⎎	Schmitt-trigger, element met hysteresis
Σ	Opteller
P-Q	Aftrekker
Π	Vermenigvuldiger
⎍	Monostabiel element, hertriggerbaar
1⎍	Monostabiel element, niet opnieuw triggerbaar
G⎍⎍	Astabiel element (oscillator)
!G⎍⎍	Synchroon startend astabiel element, begint met volledige puls
G!⎍⎍	Synchroon stoppend astabiel element, maakt laatste puls af

De belangrijkste kwalificatie-symbolen voor logische functies. (© 2020 Jos Verstraten)

Kwalificatie-symbolen voor de in- en uitgangen

In- en uitgangen worden aangeduid door rechte lijntjes die tot tegen de omtrek van de symbool-rechthoek worden getekend. Op deze lijntjes kunt u echter een aantal symbolen aantreffen, die deze ingang verder definiëren. Deze kwalificatie-symbolen voor in- en uitgangen zijn samengevat in de onderstaande tabel.

SYMBOOL	BETEKENIS
	Ingang met inverteer-functie. Een 'L' op deze ingang heeft intern een 'H' tot gevolg en vice versa
	Uitgang met inverteer-functie. Een interne 'L' heeft een 'H' op de uitgang tot gevolg en vice versa
	Signaal loopt in beide richtingen
	Niet-logische ingang, wordt nader omschreven in het symbool
	Ingang voor analoge signalen op een digitale functie
	Ingang voor digitale signalen op een analoge functie

De kwalificatie-symbolen voor in- en uitgangen. (© 2020 Jos Verstraten)

Functie-definities van de in- en uitgangen

In de twee onderstaande tabellen is een aantal tekens samengevat die binnen de omlijning van de symbolen worden toegepast. Deze tekens specificeren de functie die een bepaalde in- of uitgang heeft. Als bijvoorbeeld een bepaalde schakeling één ingang heeft die een Schmitt-trigger functie heeft, dan wordt dit in het symbool van de schakeling aangegeven door het reeds bekende Schmitt-trigger symbool te vermelden bij het lijntje dat deze ingang voorstelt. Hetzelfde geldt voor open-collector, open-emitter en tri-state uitgangen.
Let op dat een enable-ingang (EN) alle uitgangen beïnvloedt en geen effect heeft op de ingangen. Wanneer een enable-ingang slechts invloed heeft op bepaalde uitgangen en/of een of meer ingangen, dan wordt dit met een afhankelijkheids-notering aangegeven, lees verder.
Het is ook belangrijk te weten dat een D-ingang altijd de data-ingang van een geheugen element is. Een interne logische 'H' op de D-ingang zet het geheugen-element in de 'H'-toestand, terwijl een logische 'L' het element terug zet in de 'L'-toestand.
Het groeperen van in- of uitgangen wordt aangegeven met het groeperingsteken.
Binair gewogen ingangen worden in volgorde gezet, waarbij de binaire waarden van het minst en meest belangrijke bit met cijfers worden vermeld. Alleen bij gebruik van het groeperingsteken worden de waarden van in- en uitgangen als machten van twee genoteerd. In andere gevallen gebruikt men decimale equivalenten.

SYMBOOL	BETEKENIS
	Ingang met hysteresis (Schmitt-trigger)
EN	Enable-ingang. Wanneer deze ingang 'H' is, worden alle uitgangen vrijgegeven
	Binaire groepering, m is de hoogste macht van 2
+m	Tellende ingang, optellen = +, neertellen = -
CT=m	Zet-inhoud ingang, een 'H' zet de waarde 'm' in het element
"1"	Ingang met vaste waarde, "1" voor 'H', "0" voor 'L'
E	Extensie-ingang, bedoeld voor uitbreidingen
<	Kleiner dan ingang van een magnitude comparator
>	Groter dan ingang van een magnitude comparator
=	Gelijk aan ingang van een magnitude comparator
CI	Carry-in ingang van een rekenkundig element
CP	Carry-propagate ingang van een rekenkundig element
CX	Aansluiting voor een externe condensator
RX	Aansluiting voor een externe weerstand
	Dynamische ingang. Een overgang van 'L' naar 'H' veroorzaakt een tijdelijke interne 'H'
	Dynamische ingang. Een overgang van 'H' naar 'L' veroorzaakt een tijdelijke interne 'H'

Functie-definities van ingangen. (© 2020 Jos Verstraten)

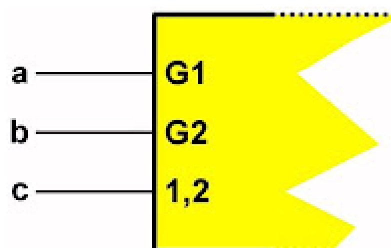
SYMBOOL	BETEKENIS
	Open-collector uitgang met laag-ohmig 'L'. Heeft externe optrekweerstand nodig
	Passief opgetrokken uitgang. Open-collector uitgang met ingebouwde optrekweerstand
	Open-emitter uitgang met laag-ohmig 'H'. Heeft externe neertrekweerstand nodig
	Passief omlaag getrokken uitgang. Open-emitter uitgang met ingebouwde weerstand naar GND
	Tri-state uitgang
	Binaire groepering, m is de hoogste macht van 2
	Uitgang met vaste waarde, "1" voor 'H', "0" voor 'L'
	Zeven-segment uitgangen naar een display
E	Uitbreidingsuitgang
BO	Borrow-out uitgang van een rekenkundig element
CG	Carry-generate uitgang van een rekenkundig element
CP	Carry-propagate uitgang van een rekenkundig element

Functie-definities van uitgangen. (© 2020 Jos Verstraten)

Afhankelijkheids-noteringen

Wat is een afhankelijkheids-notering?
Met '*afhankelijkheids-noteringen*' worden de logische relaties tussen de ingangen en de uitgangen, maar ook tussen in- en uitgangen onderling duidelijk aangegeven. De informatie van de afhankelijkheids-noteringen en die van de kwalificatie-symbolen vullen elkaar aan.

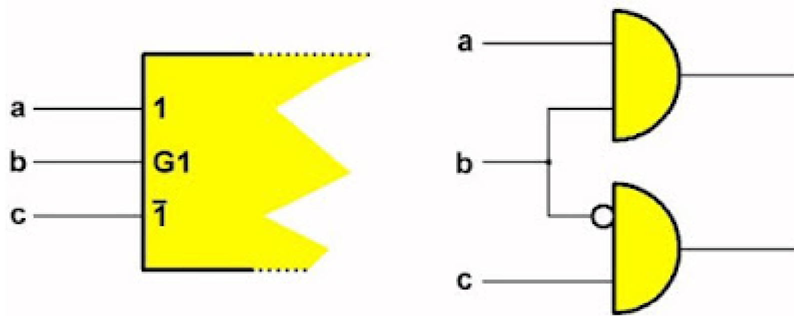
Besturen en bestuurd
Bij de afhankelijkheids-notering worden de begrippen '*besturen*' en '*bestuurd*' toegepast. De ingang (of uitgang) die andere ingangen of uitgangen bestuurt, wordt voorzien van een letter die de betreffende relatie aangeeft (bijvoorbeeld G voor AND), gevolgd door een geschikt identificatienummer (label). Elke ingang of uitgang die bestuurd wordt door die besturende in- of uitgang krijgt hetzelfde label. In het onderstaande voorbeeld hebben de ingangen 'a' en 'b' een AND-relatie en besturen zij beiden de ingang c.



Eenvoudig voorbeeld van een afhankelijkheids-notering.
(© 2020 Jos Verstraten)

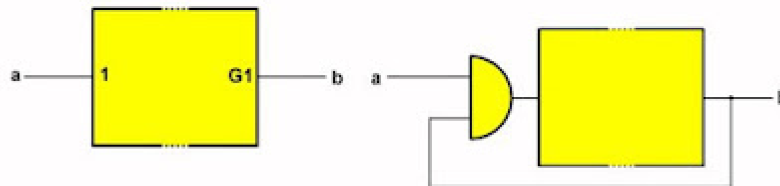
Soorten afhankelijkheids-noteringen
Er zijn tien soorten afhankelijkheid gedefinieerd:
- G: staat voor een AND-afhankelijkheid.
- V: staat voor een OR-afhankelijkheid.
- N: staat voor een EXOR-afhankelijkheid.
- Z: staat voor een verbinding.
- C: staat voor control.
- S: staat voor set.
- R: staat voor reset.
- EN: staat voor enable.
- M: staat voor modus.
- A: staat voor adres.

Voorbeelden van G-afhankelijkheden
In het onderstaande voorbeeld hebben de ingangen a en b een AND-afhankelijkheid, terwijl het complement van b een AND-afhankelijkheid heeft met c. In het linker IEC-symbool wordt de AND-afhankelijkheid aangegeven met de letter G binnen de omlijning bij de b-ingang. Na de letter G en ook bij elke bestuurde ingang wordt een voor de ontwerper aanvaardbaar nummer geplaatst. In dit voorbeeld wordt het cijfer 1 gebruikt. Let op het streepje boven de 1 bij ingang c.
Rechts staat de vertrouwde, maar verouderde symboliek.



Drie ingangen met G-afhankelijkheden. (© 2020 Jos Verstraten)

In de onderstaande figuur beïnvloedt uitgang b ingang a met een AND-afhankelijkheid. Ook hier zijn de vertrouwde oude symbolen weer rechts getekend.

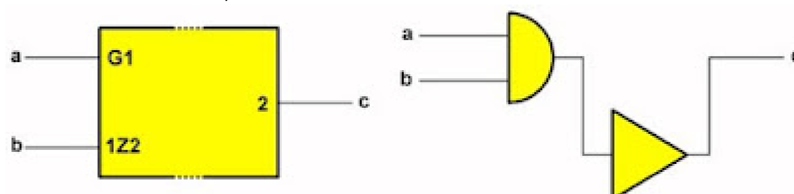


Een G-afhankelijkheid tussen een uitgang en een ingang. (© 2020 Jos Verstraten)

V-afhankelijkheid: OR
Het symbool dat de OR-afhankelijkheid aangeeft, is de letter V. Wanneer een Vm-ingang of een Vm-uitgang 'H' is, staan alle in- en uitgangen die door Vm worden beïnvloed op 'H'. Staat de Vm-ingang of de Vm-uitgang op 'L', dan bevinden alle door Vm beïvloede in- en uitgangen zich in hun normaal gedefinieerde logische toestanden.

N-afhankelijkheid: EXOR
Iedere in- of uitgang die door een Nm-uitgang (of Nm-uitgang) wordt beïnvloed heeft hier een EXOR-relatie mee. Als een Nm-ingang of een Nm-uitgang 'H' is, zal elke door Nm beïnvloede in- en uitgang de complementaire toestand aannemen. Staat de Nm-ingang of Nm-uitgang intern op 'L', dan bevinden alle door Nm beïnvloede in- of uitgangen zich in hun normaal gedefinieerde toestanden.

Z-afhankelijkheid: verbinding
Soms is het nodig de interne verbindingen tussen ingangen en uitgangen nader te definiëren. Deze relatie wordt aangegeven met de letter Z. Alle in- en uitgangen die door een Zm-ingang (of -uitgang) bestuurd worden, nemen dezelfde interne logische toestand aan als de Zm-ingang (of -uitgang).
In het onderstaande voorbeeld hebben de ingangen a en b een AND-afhankelijkheid en hebben de ingang b en de uitgang c een Z-afhankelijkheid. Of, in duidelijk Nederlands. Als b 'L' is dan is ook c 'L' en als B 'H' is, dan is ook c 'H'



Een Z-afhankelijkheid tussen ingang b en uitgang c. (© 2020 Jos Verstraten)

C-afhankelijkheid: control
Control ingangen geven de data-ingangen (D, J, K, R of S) van geheugen-elementen vrij (enable) of sperren deze (disable). Deze bestuurbaarheid wordt aangegeven met de letter C. Als een Cm-ingang 'H' is, hebben de door Cm beïnvloede ingangen hun normale effect op de functie van het element, deze ingangen zijn dus 'enabled'. Met een Cm-ingang op 'L' zijn de door Cm bestuurde ingangen disabled en hebben zij geen effect op de functie van het

element.

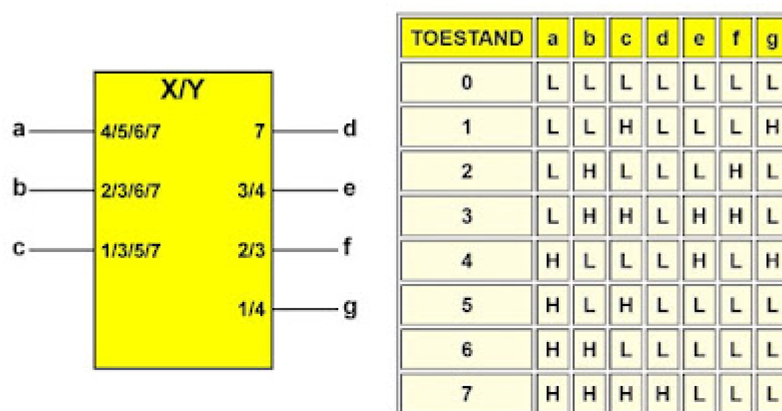
S- en R-afhankelijkheid: set en reset
De S- en R-afhankelijkheden worden gebruikt voor het definiëren van de set- en reset-ingangen van een logische schakeling. Als een Sm-ingang 'H' is, zullen de door Sm bestuurde uitgangen 'H' worden. Met een Rm-ingang op 'H' zullen de door Rm bestuurde uitgangen 'L' worden.
Wanneer een Sm of Rm-ingang 'L' is, heeft deze geen effect. Gelijktijdige terugkeer van de Sm- en Rm-ingangen naar 'L' heeft een niet te voorspellen uitgangspatroon tot gevolg.

EN-afhankelijkheid: enable
Een ENm-ingang heeft hetzelfde effect op uitgangen als een functie-definitie EN van een ingang, maar ENm beïnvloedt uitsluitend de uitgangen met het identificatienummer 'm'. Bovendien bestuurt een ENm-ingang ook ingangen met het nummer 'm'. Dat doet een ingang met een functie-definitie EN niet.

M-afhankelijkheid: modus
De modus-afhankelijkheid wordt gebruikt om aan te geven dat de effecten van bepaalde ingangen en uitgangen van een element afhangen van de modus waarin het element werkt.

Codeer-elementen

Van de ene code naar een andere zonder waarheidstabel
Het algemene symbool voor een codeerschakeling of code-omzetter is weergegeven in de onderstaande figuur. X en Y kunnen worden vervangen door indicaties van de gebruikte standaard codes aan de in- en uitgangen, bijvoorbeeld BCD, BIN of GRAY. Iedere ingang en iedere uitgang wordt voorzien van een aantal cijfers, gescheiden door schuine streepjes. Deze cijfers geven de toestanden van het systeem aan, waarbij de ingang of de uitgang een waarde 'H' heeft of krijgt. In het getekende voorbeeld heeft de code-omzetter zeven toestanden. Uitgang d wordt 'H' bij de zevende toestand. 'Ingang b is 'H' bij de toestanden 2, 3, 6 en 7.
Op deze manier is het niet meer noodzakelijk zogenaamde waarheidstabellen van code-omzetters op te stellen.



TOESTAND	a	b	c	d	e	f	g
0	L	L	L	L	L	L	L
1	L	L	H	L	L	L	H
2	L	H	L	L	L	H	L
3	L	H	H	L	H	H	L
4	H	L	L	L	H	L	H
5	H	L	H	L	L	L	L
6	H	H	L	L	L	L	L
7	H	H	H	H	L	L	L

Het IEC-symbool van een eenvoudige code-omzetter. (© 2020 Jos Verstraten)